

## МЕТОДОЛОГІЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СПОЖИВАННЯМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

В статті розглянута методологія управління режимами електроспоживання промислових об'єктів, включаючи короткострокове прогнозування режимів електроспоживання, оперативне управління електроспоживанням, побудову комплексів технічних засобів контролю та управління використанням електричної енергії.

**Ключові слова:** електроспоживання, управління, споживачі-регулятори, оптимізація, облік, контроль.

**Вступ.** Актуальність проблеми управління використанням електричної енергії є суттєвою для всіх країн світу де є значна нерівномірність споживання електричної енергії протягом доби, в робочі та вихідні дні тижня, у різні сезони року, а також при нестачі маневрових енергогенеруючих потужностей.

Для здійснення заходів у напрямку управління використанням електричної енергії необхідно значно менших коштів, ніж введення у дію нових енергоблоків, проте таке управління може забезпечити зниження сучасної потреби енергетики в генеруючих потужностях не менш як на 10-15 відсотків.

Доцільність управління енерговикористанням не знижується навіть в умовах наявності в енергетичній галузі необхідних резервних та маневрових потужностей, оскільки заходи в цьому напрямку здебільшого економічно більш ефективні, ніж еквівалентний розвиток паливно-енергетичного комплексу держави, необхідний у зв'язку з некерованим зростанням попиту споживачів на електричну потужність та енергію.

**Особливості управління електроспоживанням.** Ефективне управління використанням електричної енергії залежить від комплексного розгляду принципових питань: розробки та запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, яка стимулювала б створення і використання у споживачів маневрового електричного навантаження (споживачів-регуляторів електричної енергії); створення моделей, методів та програмного забезпечення для управління електричним навантаженням споживачів та їх електроспоживанням; створення та забезпечення постачальників і споживачів електроенергії сучасними технічними засобами обліку та управління електроспоживанням; розробки і впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії [1].

В працях НТУУ «КПІ» була запропонована концепція узагальненої оптимізації режимів електроспоживання промислових підприємств, яка передбачала комплексне дослідження питань створення вимірювально-інформаційних систем та інформаційних систем управління електроспоживанням, інформаційних потоків електроспоживання, що отримуються в темпі функціонування режимів електроспоживання підприємств на основі розробленої єдиної інформаційної бази, включаючи оперативне та автоматичне управління споживачами-регуляторами електричної енергії [2].

**Планове управління електроспоживанням.** Планування потужності споживача викликане необхідністю визначення потенціалу підприємства для регулювання навантаження в нормальному режимі з метою мінімізації затрат на електроспоживання (визначення споживачів-регуляторів (СР<sub>н</sub>) електричної енергії нормального режиму) та у вимушеному режимі, який здійснюється при впровадженні обмежень з боку енергопостачальної організації (визначення споживачів-регуляторів (СР<sub>в</sub>) електричної енергії вимушеного режиму) [3].

В роботі [4] запропоновано класифікацію та визначено критерії формування СР електричної енергії. Переведення споживачів електричної енергії на режим споживачів-регуляторів здійснюється відповідно до формалізованих цільових функцій та обмежень, що відповідають їм, а також з урахуванням типу та режиму роботи СР<sub>і</sub> (див. таблицю).

Цільова функція	Обмеження цільової функції	Тип СР	Режим роботи
$W_H \rightarrow 0$	$\begin{cases} 3_D = 0, y = 0 \\ E = E_H, y = 0 \end{cases}$	$CP^I_H$ $CP^{II}_H$	Нормальний
$W_n - W_{дон} \rightarrow 0$	$\begin{cases} 3_D = 0, y = 0 \\ E \geq E_H, y = 0 \end{cases}$	$CP^{III}_H$ $CP^{IV}_H$	Нормальний
$y \rightarrow \min$	$W_H < W_{дон} \quad E > E_H$	$CP^V_B$	Вимушений

В цій таблиці:  $W_H$  – споживання електроенергії СР в пікові навантаження;  $W_{\text{доп}}$  – допустиме споживання електроенергії СР в пікові навантаження;  $Z_o$  – додаткові затрати на створення позапікового режиму роботи СР;  $y$  – збиток підприємства від організації позапікового режиму роботи СР;  $E$  і  $E_n$  – розрахунковий і нормативний коефіцієнти ефективності.

В роботі [5] запропонована модель управління електроспоживанням підприємства через регулювання навантаження споживачів технологічного процесу (СР) шляхом переміщення даного процесу в зони мінімальних навантажень енергетичних систем.

**Оперативне управління навантаженням.** За умовою нормального режиму розроблено евристичний метод управління електричним навантаженням, що об'єднує переваги методів управління за ідеальною нормою та управління з упередженням [4]. В основу вироблення керуючого впливу і встановлення пріоритету покладено логічні оцінки поточних та випереджувальних ситуацій, а також встановлення та перерозподіл черговості обмеження та поновлення споживачів за апіорно визначеним пріоритетом. Управління навантаженням підприємств у режимі реального часу виконується з розглядом дискретності ступенів електроспоживання при різних формах завдання негативних наслідків та з застосуванням елементів нечіткої логіки.

В умовах обмежень відключення СР<sub>в</sub> або зниження потужності (за рахунок переривання навантажень) повинно провадитись залежно від реального електроспоживання підприємства та обмежень, що накладаються енергосистемою.

З іншого боку, критерієм нормального функціонування підприємства є отримання добового сукупного продукту, що передбачається планом, для реалізації якого необхідно інтенсифікувати роботу підприємства під час мінімуму навантаження енергосистемами, а також використовувати різноманітні технологічні ємності.

Завдання управління в цьому випадку вирішується на базі розробленого методу з використанням теорії розподілу ресурсу (в даному випадку енергетичного ресурсу споживачів - регуляторів) на кожному кроці управління [2,3,6].

Позитивну роль в підвищенні ефективності оптимізації режимів електроспоживання може зіграти і впливаюче на його рівні управління режимами напруги в системі електропостачання (СЕ). В зв'язку з цим доцільним представляється перехід до комплексного вирішення проблеми управління електроспоживанням як за рахунок управління СР, так і впливання на режими напруги СЕ.

Проте реалізація такого підходу, створення відповідної системи управління стикаються з необхідністю подолання ряду принципових питань, окремі з яких носять концептуальний характер. Нижче обговорюються ці питання і шляхи їх вирішення.

**Формування статичних характеристик навантаження для центрів живлення (ЦЖ).** Вирішення цієї задачі можливо двома шляхами:

- а) в результаті здійснення активних експериментів;
- б) на основі інтегрування статичних характеристик окремих електроприймачів (ЕП).

Орієнтація на другий шлях доцільна при обмеженому числі різнотипних ЕП. Проте в будь-якому випадку належить визначити статичні характеристики крупних СР, відключення або включення яких може помітно впливати на інтегральну статичну характеристику.

**Визначення об'єму спрацювання пристрою РПН та допустимої глибини регулювання напруги для кожного ЦЖ.** Враховуючи обмеженість добового режиму спрацювання пристрою РПН, а також ту обставину, що в позапіковий період РПН повинно бути задіяно для цілей виконання вимог стандарту, доцільно намітити наступний шлях вирішення цього питання.

На основі моделювання та оптимізації режиму напруги в СЕ промислового підприємства визначається очікуваний об'єм спрацювання пристрою РПН для цілей регулювання напруги: "запас"  $N$ , який лишився при цьому, можна використати в період максимуму навантажень для цілей управління електроспоживанням. Допустима глибина регулювання (пониження) напруги округлюється в процесі аналізу умов функціонування ЕП і виявлення технічних обмежень, наприклад, по умовах роботи пускачів.

**Формування оцінок збитків від відключення навантаження СР і пониження напруги на шинах ЦЖ.** Даний етап представляється досить відповідальним і складним. Це пов'язано, з однієї сторони, з тим, що обґрунтованість, об'єктивність оцінок по суті визначає фактично ефективність, отриманих на їх основі, рішень. З іншої сторони, формування вказаних оцінок, зокрема, для СР надто важке, оскільки вони залежать в багатьох факторів.

В цьому питанні належить орієнтуватись на підходи, які пов'язані з можливістю широкого використання всіх допустимих джерел інформації (кількісні та якісні, прямі та побічні оцінки), набір евристичних правил, широке використання досвіду, знань, інструкції персоналу різних технічних служб промислових підприємств.

Задачу необхідно звести до математичного апарату який допускає оперування з формальними та неформальними процедурами, обробку різної по своїй природі інформації. Враховуючи сказане, зазначимо три підходи, які відбивають в значній мірі наведені міркування, як у відношенні формування

оцінок по узагальненому показнику "збиток", так і по його окремих складових.

1. Формування детермінованих оцінок на основі використання енергетичних показників процедури Сааті.
2. Формування нечітких оцінок на основі використання поняття лінгвістичної змінної величини.
3. Формування оцінок збитків на основі використання елементу експертних систем і, зокрема, логічно-лінгвістичного підходу.

**Побудова оптимізаційних моделей.** Необхідність в управлінні режимом електроспоживання в данному періоді контролю  $T$  (нині 30-хвилинний) виникає в тому випадку, коли

$$\Delta W_{(T)} = \sum_{j=1}^j W_j(T) - W_{\text{дон}} > 0$$

де  $W_j(T)$  - прогнозне до кінця періоду  $T$  значення електроспоживання  $j$ -го ЦЖ.

$W_{\text{дон}}$  - визначається на основі обмежень навантажень, що вводяться енергопостачальними організаціями, як допустима величина електроспоживання для періоду  $T$ , при цьому  $W_{\text{дон}} = P_{\text{дон}} * T$ .

Обмеження, яке необхідно виконати, можна записати в такому виді

$$\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^i \Delta W_{\text{cpij}}(T) + \sum_{j=1}^j \Delta W_{j'}(\Delta U_{j'}) \geq \Delta W(T)$$

де  $\Delta W_{\text{cpij}}$  - шукана величина зниження електроспоживання (відповідно потужність і тривалість знаходження у відключеному стані для  $i$ -го СР  $i$ -го ЦЖ ( $i_j = 1, \dots, I_j$ );  $\Delta W_{j'}(\Delta U_{j'})$  - шукана величина зниження електроспоживання (відповідно ступінь пониження напруги і тривалість знаходження в такому стані) для  $j$ -го ЦЖ.

В силу того, що не всі ЦЖ можна задіяти для регулювання напруги з позицій управління електроспоживанням  $j = 1, \dots, j \leq j$ .

Якщо задовольняється вказане обмеження, то необхідно мінімізувати цільову функцію, яка відображає збиток, зв'язаний з обмеженням навантажень СР і пониженням напруги на затискачах ЕП, тобто

$$\sum_{j=1}^j \sum_{i_j=1}^{i_j} Y_{i_j}(\Delta W_{\text{cpi}}) + \sum_{j'=1}^{j'} Y_{j'}(\Delta W_{j'}(\Delta U_{j'})) \rightarrow \min.,$$

де  $Y_{i_j}(\Delta W_{\text{cpi}})$  і  $Y_{j'}(\Delta W_{j'}(\Delta U_{j'}))$  - відповідні збитки від регулювання навантаження СР і пониження напруги.

Вирішення задачі досягається на основі відповідних алгоритмів мінімізації, приведених в [7].

**Технічні засоби обліку, контролю та управління електроспоживанням.** Розроблено принципи побудови, структурні та функціональні схеми побудови технічних засобів на базі мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки. Здійснено їх класифікацію за функціональними та топологічними особливостями систем енергопостачання промислових підприємств, що полягає в оцінці потужності підприємств, потенційних можливостей споживачів-регуляторів для участі їх в управлінні навантаженням, структурі систем електропостачання (розгалужені, прості) [2,3,8].

Розробка та освоєння комплексів технічних заходів КТЗЕ у виробництві здійснювалась спільно з іншими установами:

вимірювально-інформаційні системи обліку та контролю електроспоживання ИИСЭ-2 і ИИСЭ-3 спільно з БілЕНІН (м. Мінськ) і СКТБ заводу ВЗЕТ (м. Вільнюс);

спеціалізована інформаційно-логічна система електроспоживання вугільних шахт «Електроника ИЛСЭ 1-32» спільно із СКТБ ВТ ВО «Позистор» (м. Абовян, Вірменія);

централізована та децентралізована інформаційно-управляюча система енергоспоживання загальнопромислового призначення КИУС ЦТ-5000 спільно із СКТБ ВО «Точелектроприлад» (м. Київ) - вироблено більш ніж 3000 комплектів;

комплекси технічних засобів сімейства ІТЕК спільно НВП „Енергія+” (м. Київ).

Розроблено концепцію, принципи побудови систем централізованого управління електроспоживанням та сформульована двоетапна оптимізація управління режимами електроспоживання: на рівні енергетичної системи здійснюється оптимізація розподілу потужності та визначення завдань (уставок) для промислових підприємств на підставі певної системи критеріїв, на рівні споживачів енергії здійснюється оптимізація під час вибору  $СР_n$  і  $СР_v$  у реальному часі.

Наказами Мініенерго України та Національної комісії з регулювання в електроенергетиці за узгодженням з Держстандартом України надано чинності «Концепції побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії в умовах енергоринку», де сформульовані основні принципи здійснення обліку електроенергії в умовах енергоринку (розроблено спільно з консалтинговою фірмою ЕнКоГ).

Розроблено нормативно-методологічне (з іншими установами), математичне та програмне

забезпечення:

типова методика обстеження станції/підстанції щодо відповідності ведення обліку сучасним вимогам;

методика енергоаудиту промислового підприємства;  
мобільні реєстратори кількісних та якісних параметрів режиму електроспоживання;  
технічні вимоги до систем комерційного обліку енергії (ГКД-34.35-97 - розроблено з НЕК Укренерго, ДП «Укренергоефективність» та ДП ГІОЦ Міненерго України);  
програма модернізації та впровадження систем обліку електроенергії;  
нове сімейство програмно-технічних засобів обліку - ІТЕК;  
типові проектні рішення для побудови автоматизованих систем обліку електроенергії для енергокомпаній (розроблено спільно з ДП «Укренергона-ладкавимірювання»), промислових підприємств та комунально-побутового секторів.

#### Висновки.

1. Здійснення необхідних заходів у напрямку управління енерговикористанням розглядається як ефективний шлях стабілізації енергетики.

2. Для ефективного управління використанням електричної енергії необхідно запровадження прогресивної системи тарифів на електричну енергію, впровадження дієвої нормативно-правової бази управління використанням електричної енергії, створення моделей, методів та програмного забезпечення управління електричним навантаженням споживачів та їх електроспоживанням; створення та забезпечення постачальників і споживачів електроенергії сучасними технічними засобами обліку та управління електроспоживанням.

#### Література

1. Праховник А.В. Проблеми, методи і засоби управління використанням електричної енергії / Праховник А.В. Находов В.Ф. - Наукові вісті НТУУ «КПІ»- № 1.-1997.- С.41-48.
2. Праховник А.В. Методы и средства управления электропотреблением / Праховник А.В. - Брошюра общ-ва «Знание» УССР,- К.-1981,-25 с.
3. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением/ Праховник А.В. - Вища школа, Киев,-1986,- 76 с.
4. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. - М., - Недра,- 1985,- 232 с.
5. Є.М. Іншеков. Оптимізація режимів електроспоживання підприємства хімічної промисловості/ Є.М. Іншеков, І.В. Калінчик. - Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. - 2012. - № 25, Частина II. – С. 121 – 125.
6. В.П. Калінчик. Метод розподілу енергоресурсів між споживачами/ В.П. Калінчик, В.П.Розен, А.В.Скачок. - Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. - 2012.. - № 25, Частина II. – С. 52 – 57.
7. Праховник А.В. К управлению электропотреблением в условиях дефицита энергоресурсов / Праховник А.В., Калинчик В.П., Эпель П.Я. - Изв. Вузов СССР Энергетика.-1986,- № 10,- С.12-15.
8. А.В.Праховник. Системи обліку електроенергії в умовах функціонування Smart Grid технологій/ А.В.Праховник, В.П.Калінчик, А.В.Волошко, О.В.Коцар. - Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Частина 2, 2011.- С.14-22.

V. KALINCHYK

#### METHODOLOGY OF OPERATIVE MANAGEMENT OF ELECTRICITY CONSUMPTION

A methodology of electricity consumption modes on industrial objects based on conception of generalized energy use optimization according to the complex study of information flow of electricity consumption is considered in the article. The matters of planned and operational electricity consumption management are reviewed. It is shown that electricity consumers are shifted to the mode of controlled load consumer according to formalized objective function and limitations. Composing control action and priority resolution is based on logical assessment of continuous and anticipatory situations and determination and reallocation of limitations order and consumers' restoration according to priori defined priority. It is shown that a positive role in optimization effectiveness increasing of electricity consumption modes can be played by voltage modes management in electricity supply system. A model of operational management for electricity consumption modes is proposed. Design principles, structural and functional schemes of technical equipment applied in production and implemented in industry are considered. It is shown that effective management of energy use is possible only under equipping electricity consumers with modern technical devices for accounting and control of electricity consumption.

**Keywords:** electricity consumption, management, prediction, controlled load consumers, optimization, accounting, control.

1. Prakhovnik A.V. Problemy, metody i zasoby upravlinnya vykorystanniam elektrichoyi energii/ Prakhovnik A.V., Nakhodov V.F. – Naukovi visti NTUU “KPI” - № 1. – 1997.- S. 41-48.
2. Prakhovnik A.V. Metody i sredstva upravleniya elektropotrebleniem/ Prakhovnik A.V. – Broshura obshch-va “Znaniye” USSR, - K.-1981,-25 s.
3. Prakhovnik A.V. Avtomatizatsiya upravleniya elektropotrebleniem/ Prakhovnik A.V. – Vishcha shkola, Kiev, 1986,- 76 s.
4. Prakhovnik A.V. Energoberegayushchiye rezhimy elektrosnabzheniya gornodobivayushchikh predpriyatiy/ Prakhovnik A.V., Rozen V.P., Degtyariov V.V. - M., - Nedra.- 1985,- 232 s.
5. Ye. M. Inshekov. Optymizatsiya rezhimiv elektrosposhyvannya pidpriyemstv khimichnoyi promislovosti/ Ye. M. Inshekov, I.V.Kalinchyk. - Tekhnika v silskogospodarskomu vyrobnytsvtvi, galuzeve mashynobuduvannya, avtomatizatsiya: zb. nauk. prats KNTU. - 2012. - № 25, Chastina II. – S. 121 – 125.
6. V.P.Kalinchyk. Metod rozpodilu energoresursiv mizh spozhivachamy/V.P.Kalinchyk, V.P., Rozen, A.V.Skachok - Tekhnika v silskogospodarskomu vyrobnytsvtvi, galuzeve mashynobuduvannya, avtomatizatsiya: zb. nauk. prats KNTU. - 2012. - № 25, Chastyna II. – S. 52 – 57.
7. Prachovnik A.V. K upravleniyu elektropotrebleniem v usloviyah defitsita energoresursov/ Prachovnik A.V., Kalinchyk V.P. Ekel P.Ya. – Izhv. Vuzhov SSSR. Energetika. - 1986,- № 10,- S.12-15.
8. A.V. Prachovnik. Systemy obliku elektroenergiyi v umovakh funktsionuvannya Smart Grid tekhnologiy/ A.V. Prachovnik, V.P.Kalinchyk, A.V.Voloshko, O.V.Kotsar – Pratsy instytutu elektrodynamiky Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrayiny. Zbirnik naukovykh prats. Spetsialniy vipusk. Chastyna 2, 2011.- S.14-22.

УДК 621.311.153

В.П.КАЛИНЧИК

#### МЕТОДОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье рассмотрена методология управления режимами электропотребления промышленных объектов, включая краткосрочное прогнозирование режимов электропотребления, оперативное управление электропотреблением, построение комплексов технических средств контроля и управления использованием электрической энергии.

**Ключевые слова:** электропотребление, управление, потребители-регуляторы, оптимизация, учет, контроль.

УДК 621.039.532

В.І. КОНЬШИН, Р. А. СТРЕМЕДЛОВСЬКИЙ

#### ОГЛЯД НОВІТНІХ РОЗРОБОК ПАСИВНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ АЕС ІЗ ВОДО-ВОДЯНИМИ РЕАКТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

В даній статті проведено короткий огляд сучасного стану розвитку пасивних систем безпеки АЕС з водо-водяними реакторними установками, як на теренах СНД так і в цілому у світі. В роботі розглянуті пасивні системи аварійного охолодження активної зони та відведення залишкового тепловиділення. В статті представлені та описані елементи пасивних систем безпеки для АЕС з реактором типу ВВЕР-1000/В-392. Також в статті проведено огляд елементів пасивних систем безпеки для реакторів типу Advanced Passive (AP), EP-1000, APWR+ та IRIS. Сформульовані висновки та завдання комплексного дослідження з обґрунтування пасивних систем безпеки АЕС нового покоління на основі світового досвіду проектування та експлуатації атомних станцій.

**Ключові слова:** активна зона, корпус реактора, пасивні системи безпеки, контейнмент, залишкові тепловиділення.